

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4657208号
(P4657208)

(45) 発行日 平成23年3月23日(2011.3.23)

(24) 登録日 平成23年1月7日(2011.1.7)

(51) Int. Cl. F I
G O 2 B 6/028 (2006.01) G O 2 B 6/18
G O 2 B 6/00 (2006.01) G O 2 B 6/00 3 6 6

請求項の数 5 (全 22 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2006-519222 (P2006-519222) (86) (22) 出願日 平成16年7月8日(2004.7.8) (65) 公表番号 特表2007-529023 (P2007-529023A) (43) 公表日 平成19年10月18日(2007.10.18) (86) 国際出願番号 PCT/JP2004/010058 (87) 国際公開番号 W02005/006037 (87) 国際公開日 平成17年1月20日(2005.1.20) 審査請求日 平成19年4月5日(2007.4.5) (31) 優先権主張番号 特願2003-273272 (P2003-273272) (32) 優先日 平成15年7月11日(2003.7.11) (33) 優先権主張国 日本国(JP)</p>	<p>(73) 特許権者 306037311 富士フイルム株式会社 東京都港区西麻布2丁目26番30号 (74) 代理人 110000109 特許業務法人特許事務所サイクス (72) 発明者 鎌田 晃 日本国静岡県富士宮市大中里200番地 富士写真フイルム株式会社内 審査官 ▲高▼ 芳徳</p>
--	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラスチック光ファイバ及びその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

長手方向に垂直な面において、周辺部近傍よりも中心部の屈折率が高く、長手方向に平行で且つ長手方向中心線を含む平面において、長手方向中心線から該長手方向中心線と垂直な方向周辺部に向かって複屈折率が変化している光伝送コア部を有するプラスチック光ファイバであって、

前記光伝送コア部が、均一組成かつ固有複屈折が負の材料からなり、光伝送方向と平行で且つ長手方向中心線を含む前記光伝送コア部の平面上において、光伝送方向の屈折率を n_x 及びそれに垂直な方向の屈折率を n_y とした場合、複屈折率 $n (= n_x - n_y < 0)$ が、前記長手方向中心線から前記長手方向中心線と垂直な方向周辺部に向かってその絶対値が減少しており、

前記光伝送コア部の分子が長手方向に配向しているとともに、長手方向中心線に垂直な方向周辺部から長手方向中心線に向かうに従って、分子が長手方向に強く配向しており、前記光伝送コア部における分子の配向度の変化が、該コア部の屈折率分布を形成しているプラスチック光ファイバ。

【請求項2】

長手方向に垂直な面において、周辺部近傍よりも中心部の屈折率が高く、長手方向に平行で且つ長手方向中心線を含む平面において、長手方向中心線から該長手方向中心線と垂直な方向周辺部に向かって複屈折率が変化している光伝送コア部を有するプラスチック光ファイバであって、

10

20

前記光伝送コア部が、均一組成かつ固有複屈折が正の材料からなり、光伝送方向と平行で且つ長手方向中心線を含む前記光伝送コア部の平面上において、長手方向の屈折率を n_x 及びそれに垂直な方向の屈折率を n_y とした場合、複屈折率 $n (= n_x - n_y > 0)$ が、前記長手方向中心線から前記長手方向中心線と垂直な方向周辺部に向かって増加しており、

前記光伝送コア部の分子が長手方向に配向しているとともに、長手方向中心線から長手方向中心線に垂直な方向周辺部に向かうに従って、分子が長手方向に強く配向しており、前記光伝送コア部における分子の配向度の変化が、該コア部の屈折率分布を形成しているプラスチック光ファイバ。

【請求項 3】

前記固有複屈折が負の材料が、メタクリル酸メチル、スチレン、 α -メチルスチレン、クロロスチレン、及びプロモスチレンの重合体の少なくとも 1 種を含有する請求項 1 に記載のプラスチック光ファイバ。

【請求項 4】

前記固有複屈折が正の材料が、ポリカーボネート及びメタクリル酸ベンジルの重合体の少なくとも 1 種を含有する請求項 2 に記載のプラスチック光ファイバ。

【請求項 5】

光損失が、 250 dB/km 以下である請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載のプラスチック光ファイバ。

【発明の詳細な説明】

【発明の属する技術分野】

【0001】

本発明は、伝送周波数が $10 \text{ GHz} \cdot \text{m}$ を超える高周波信号伝送が可能な光ファイバに関し、更に詳しくは従来型の屈折率分布型マルチモードプラスチック光ファイバに比べて、ロバストネス（頑健さ）及び製造コストを改良した屈折率分布型マルチモードプラスチック光ファイバに関する。

【背景技術】

【0002】

マルチモード光ファイバは、大口径で接続できる技術としてガラスファイバの一種としても多用されているが、特にプラスチック光ファイバの分野では、マルチモードが基本とされている。プラスチック光ファイバ（POFと略記することがある）は、素線が全てプラスチックで構成されているため、伝送損失が石英系と比較してやや大きいという短所を有するものの、良好な可撓性を有し、軽量で、加工性がよい。さらに石英系光ファイバと比較して、口径の大きいファイバとして製造し易く、低コストに製造可能であるという長所を有する。従って、伝送損失の大きさが問題とならない程度の短距離用の光通信伝送媒体として種々検討されている。

【0003】

プラスチック光ファイバは、一般的には、重合体をマトリックスとする有機化合物からなる芯（本明細書において「コア部」と称する）と、コア部と屈折率が異なる（一般的には低屈折率の）有機化合物からなる外殻（本明細書において「クラッド部」と称する）とから構成される。コア部が均一組成の素材からなる POF は、ステップインデックス型 POF といわれ、市販されているものもあるが、いずれもその伝送周波数帯域は約 $10 \text{ GHz} \cdot \text{m}$ 以下である。一方、中心から外側に向かって屈折率の大きさに分布があるコア部を有する屈折率分布型 POF（以下 GI-POF という場合がある）は、伝送する光信号の帯域をより大きくすることが可能なため、高い伝送容量を有する光ファイバとして最近注目されている（例えば、特許文献 1 および 2 参照）。このような屈折率分布型 POF の製法の一つに、界面ゲル重合を利用して、光学部材母材（本明細書において、「プリフォーム」と称する）を作製し、その後、前記プリフォームを延伸する方法などが提案されている。この屈折率分布型光ファイバでは、マトリックス素材の中に屈折率の高い調整剤を含有させ、その含有率を断面の半径方向において徐々に変化させることによって所望の屈折率

10

20

30

40

50

分布を得ている。

【特許文献1】特開昭61-130904号公報

【特許文献2】特許3332922号

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかし、従来の屈折率分布型POFの作製方法は、プリフォームを作製する際に精密な成形制御が必要であり、生産上の条件制御が難しい。特に、特許文献1に記載されている作製方法は、界面ゲル重合を利用して断面方向に徐々に成長させるために作製に時間がかかり、且つプリフォームのサイズ(長さ、太さ)が制限される。そのためプリフォーム作製工程およびプリフォームの延伸工程においてコストを軽減することが困難である。また、前記作製方法では、屈折率の高い低分子とマトリックス素材の組み合わせで屈折率分布を形成しているが、この屈折率分布が様々な温湿度範囲で長期に崩れないことが、品質保証上求められる。しかし、本発明者が、実際に種々検討したところ、屈折率の高い低分子とマトリックス素材との組み合わせの中で、こうした品質保証に耐え得るものには限りがあり、同様に屈折率の異なる重合体を共重合させることにより屈折率分布を付与する場合は重合体の組合せによって界面不整等が起きて高い損失を示す事があるため、材料の選択の幅を狭めることが分かった。

10

【0005】

本発明は前記諸問題に鑑みなされたものであって、伝送周波数帯域に優れ、且つ長期耐久性や温湿度耐久性にも優れる新規な光ファイバを提供することを課題とする。また、本発明は、従来と比較して、低コストおよび短時間に製造可能な屈折率分布型光ファイバを提供することを課題とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0006】

前記課題を解決するために、屈折率分布構造の形成方法を従来の方法と根本的に変えてプリフォーム作製までの工程を簡素で迅速な製造形態にし、且つ低分子高屈折率化合物のマトリックス材料中における含有比率に基づく屈折率分布構造において懸念される、完成形態における複数成分の相溶性の崩れ等に起因する屈折率分布構造の乱れが生じ得ない形態を実現することが必要である。本発明者らは、前記課題を解決するため鋭意検討し、従来のコア部の組成の分布の調整に基づく屈折率分布構造ではなく、分子配向状態の分布の調整に基づく屈折率分布構造を有する光ファイバによれば、前記課題を解決し得ることを見出し、この知見に基づいて本発明を完成するに至った。

30

【0007】

一側面において、本発明は、長手方向に垂直な面において、周辺部近傍よりも中心部の屈折率が高く、長手方向に平行で且つ長手方向中心線を含む平面において、長手方向中心線から該長手方向中心線と垂直な方向周辺部に向かって複屈折率が変化している光伝送コア部を有する光ファイバを提供する。

本発明の態様として、前記光伝送コア部が、固有複屈折が正の材料からなり、光伝送方向と平行で且つ長手方向中心線を含む光伝送コア部の平面上において、長手方向の屈折率を n_x 及びそれに垂直な方向の屈折率を n_y とした場合、複屈折率 $n(=n_x - n_y > 0)$ が、前記長手方向中心線から前記長手方向中心線と垂直な方向周辺部に向かって増加している前記光ファイバ；前記光伝送コア部が、固有複屈折が負の材料からなり、光伝送方向と平行で且つ長手方向中心線を含む光伝送コア部の平面上において、光伝送方向の屈折率を n_x 及びそれに垂直な方向の屈折率を n_y とした場合、複屈折率 $n(=n_x - n_y < 0)$ が、前記長手方向中心線から前記長手方向中心線と垂直な方向周辺部に向かってその絶対値が減少している前記光ファイバ；前記光伝送コア部が均一組成の材料からなる前記光ファイバ；及び前記光伝送コア部の分子が長手方向に配向しているとともに、その配向度が、長手方向中心線から長手方向中心線に垂直な方向周辺部に向かって変化している前記光ファイバ；が提供される。

40

50

【 0 0 0 8 】

他の側面において、本発明は、光伝送コア部が固有複屈折を有する材料からなるプリフォームを、温度が異なる2以上のゾーンを通過させつつファイバ径まで延伸する延伸工程を含むプラスチック光ファイバの製造方法であって、前記延伸工程において、プリフォームの径の減少が開始する開始点とプリフォームの径がファイバ径となる終了点までの間の少なくとも一点において、プリフォームの外周部と中心部との温度差を5 以上の状態にするプラスチック光ファイバの製造方法を提供する。

本発明の態様として、前記光伝送コア部が、固有複屈折が正の材料からなり、多段加熱ゾーンを有するファイバ延伸機にて、プリフォームが挿入される順番として一気に延伸温度まで加熱するゾーンに入り、続くゾーンにて延伸が始まって延伸コーンが形成された後、ファイバ径になりきるまでの間に急速に冷気をふきつけ、プリフォーム外周とコア中心との温度差が20 以上付けられた状態で延伸することにより光ファイバを作製する前記光ファイバ製造方法；及び前記光伝送コア部が、固有複屈折が負の材料からなり、多段加熱ゾーンを有するファイバ延伸機にて、プリフォームが挿入される順番として30 以下の冷却ゾーンを経た後、一気に延伸温度まで加熱するゾーンに入り、プリフォーム外周とコア中心との温度差が20 以上付けられた状態で延伸することにより光ファイバを作製する前記光ファイバの製造方法；が提供される。

【 発明の効果 】

【 0 0 0 9 】

本発明のマルチモード型光ファイバは、光伝送方向と平行で長手方向中心線を含む平面のレターデイションの分布を形成し、それによって、広い伝送周波数帯域を保持するのに必要な光伝送方向と垂直な面上における屈折率の分布が形成されている。本発明のマルチモード型光ファイバは、均一の組成の素材から作製することができるので、従来の組成に分布がある屈折率分布型光ファイバよりも、温湿度の変化に起因する屈折率分布構造の乱れが格段に生じ難い。さらに、本発明のマルチモード型光ファイバは、従来、素材の組成に分布を持たせるために必要であった、界面ゲル重合工程等の煩雑な工程を経て作製する必要がなく、例えば、中心部と周辺近傍との加熱温度に差が生じる条件で延伸する等の比較的簡易な工程により分子配向状態を不均一化させて作製することが可能であり、製造時間及び製造コストを格段に低減することができる。

【 発明の実施の形態 】

【 0 0 1 0 】

以下、本発明について詳細に説明する。まず、本発明の光ファイバにおける長手方向に垂直な面上の屈折率分布と、長手方向に平行な面における複屈折率分布との関係について説明する。

一般に、固有複屈折を有する材料は、無配向状態では3次元屈折率成分 (n_x , n_y , n_z) で表されるいわゆる屈折率楕円体が真球状を保持している。即ち、 $n_x = n_y = n_z$ の関係が成立する。この時の屈折率を n_0 とする。これがバルクとして任意の方向に配向すると3次元屈折率成分 (n_x , n_y , n_z) が異なる状態、つまり複屈折が発現する。

【 0 0 1 1 】

固有複屈折が正の材料は、分子がx方向のみに配向すると、配向方向に振幅を持つ光の屈折率 (n_x) が n_0 より大きくなるのに対し、それに垂直な方向に振幅を持つ光の屈折率 ($n_y = n_z$) が n_0 より小さくなる。一方、固有複屈折が負の材料は、分子がx方向のみに配向すると、配向方向に振幅を持つ光の屈折率 (n_x) が n_0 より小さくなるのに対し、それに垂直な方向に振幅を持つ光の屈折率 ($n_y = n_z$) が n_0 より大きくなる。

【 0 0 1 2 】

ここで、長尺状の光ファイバのコア部を、図1に示す様に、直交座標 (x , y , z) に、長手方向をx軸に平行にして配置したモデルを考える。図1中、面 P_{y-z} は光ファイバの長手方向に垂直な面であり、面 P_{x-y} は長手方向中心線 L_c を含み長手方向に平行な面である。図2～図4に、種々の光ファイバの、 P_{y-z} 面上の屈折率楕円分布および P_{x-y} 面上

10

20

30

40

50

の屈折率楕円分布を模式的に示した図をそれぞれ示す。なお、光ファイバの長手方向中心線 L_c を含み長手方向に平行な他の面である面 P_{x-z} 上の屈折率楕円体は、 P_{x-y} 面上の屈折率楕円体と同様になるので省略する。

【0013】

まず、図2は、特許3332922号等に記載されている様な従来のGI-POFのコア部の、 P_{y-z} 面上の n_z および n_y 成分からなる屈折率楕円体（図2(a)）、および P_{x-y} 面（図2(b)）上の n_x および n_y 成分からなる屈折率楕円体を模式的に示した図である。図2に示す従来の光ファイバは、例えば、マトリックス中に含有される高屈折率低分子化合物の濃度分布等に基づいて、 P_{y-z} 面上に屈折率分布構造が形成されている。従って、図2(a)に示す様に、 P_{y-z} 面上の屈折率楕円体は円になるが、その大きさは中心部が大きく、周辺部に向かって小さくなっている。また、図2(b)に示す様に、 P_{x-y} 面上の屈折率楕円体の分布も、 P_{y-z} 面と同様に、中心部と周辺部近傍の屈折率楕円体が相似し、中心部が大きく、周辺部に向かうにつれて小さくなっている。

10

【0014】

一方、図3は、本発明の光ファイバのコア部の一例の P_{y-z} 面上の n_z および n_y 成分からなる屈折率楕円体分布（図3(a)）、および P_{x-y} 面（図3(b)）上の n_x および n_y 成分からなる屈折率楕円体分布を模式的に示した図である。図3に示す光ファイバは、固有複屈折が正の材料からなるとともに、コア中心部からコア周辺部に向かう（ y 軸に平行な方向に向かう）に従って、分子が長手方向（ x 方向）に強く配向している光ファイバの例である。 P_{x-y} 面上において、分子の配向度は、長手方向中心線 L_c から外側に向かって高くなり、その配向度の変化に応じて、 n_x 成分が大きくなるので、図3(b)に示す様に、屈折率楕円体は、外側になるにつれて x 方向に伸びたラグビーボール状になっていく。その結果、図3(a)に示す様に、 P_{y-z} 面上には、相対的にコア中心部からコア周辺部に向かって屈折率が減少する状態が形成されている。つまり、光の進行方向に関して従来の屈折率等方性材料において屈折率差に分布をつけた一般的なGI-POFと同等な状態にあると言える。

20

【0015】

また、図4は、本発明の光ファイバのコア部の他の例の P_{y-z} 面上の n_z および n_y 成分からなる屈折率楕円体分布（図4(a)）、および P_{x-y} 面（図4(b)）上の n_x および n_y 成分からなる屈折率楕円体分布を模式的に示した図である。図4に示す光ファイバは、固有複屈折が負の材料からなり、コア周辺部からコア中心部に向かう（ y 軸と平行な方向に向かう）に従って、分子が長手方向（ x 方向）に強く配向している光ファイバの例である。 P_{x-y} 面上において、分子の配向度は、外側から長手方向中心線 L_c に向かって高くなり、その配向度の変化に応じて、 n_x 成分が小さくなるので、図4(b)に示す様に、屈折率楕円体は、中心に近づくにつれて y 方向に伸びた円盤状になっていく。その結果、図4(a)に示す様に、 P_{y-z} 面上には、相対的にコア中心部からコア周辺部に向かって屈折率が減少する状態が形成されている。つまり、光の進行方向に関して従来の屈折率等方性材料において屈折率差に分布をつけた一般的なGI-POFと同等な状態にあると言える。

30

【0016】

上記説明した様に、本発明では、コア部に屈折率の分布を付与するために、意図的に材料中の組成を不均一にする必要はなく、均一な組成の材料からコア部を形成することができる。ここで、「均一組成」とは、一成分からなることのみを意味するのではなく、複数成分からなり、組成が領域によって偏りのない様な態様も含む意味でも用いるものとする。従って、本発明においては、コア部は、例えば、固有複屈折を有するマトリックス材料のみからなっている場合でも、固有複屈折が認められないマトリックスに固有複屈折を有するドーパント（添加成分）を均一分散した材料、または固有複屈折が認められないマトリックスに固有複屈折を有するドーパント（添加成分）を共重合した材料等の多数成分からなる材料からなっている場合でもよい。ここで、ドーパントは重合性を有しない低分子の化合物でもよいし、重合性を有するモノマー成分でもよい。

40

50

【0017】

また、上記説明した様に、コア部の長手方向に垂直な面上において複屈折率が変化している構造は、上述のように長手方向に分子を配向させるとともに、その配向の程度を中心部と周辺部近傍とで差をつけることにより形成できる。配向度を中心部と周辺部近傍とで変化させる方法としては、延伸時に中心部と周辺部の温度に差を持たせる方法が容易で好ましい。例えば、円筒形状のプリフォームを延伸して光ファイバを作製する場合は、プリフォームは熔融状態で下方に引取られ、径が延伸方向に減少して、図5に示す様に、実質的に円錐形状になる（以下、実質的に円錐形状となったプリフォームを「延伸コーン」という場合がある）。本発明では、プリフォームの径の減少が開始する開始点A1から、プリフォームの径がファイバ径となる終了点A2までの間の少なくとも一点において、プリフォームの外周部と中心部との温度差を5以上10の状態にするのが好ましく、温度差を20以上の状態にするのがより好ましい。後述する図9に示す様な複数の温度調整可能なコンパートメントを備えた延伸機（以下、「多段加熱ゾーンを有する延伸機」という場合がある）によりプリフォームを延伸すると、プリフォームの外周部と中心部とに温度差を形成し易いので好ましい。

10

【0018】

例えば、固有複屈折が正の材料からなるコア部では、コア中心部からコア周辺部に向かうに従って、分子が長手方向に、より高い配向度で配向している形態とするのであるから、延伸時にコア周辺部の方が中心部より低い温度にするとともに、コア周辺部の分子が延伸配向するのに必要な温度に調整すればよい。そのためには、図9の様な多段加熱ゾーンを有する延伸機にて1段目・2段目・3段目を予備加熱ゾーンとし、徐々に目標温度へ上げ、4段目で延伸を開始して延伸コーンが細くなっていく5段目にて冷風を当て、周辺部を急冷することにより、プリフォーム周辺部の温度をコア部の温度より低くすることが可能である。

20

【0019】

固有複屈折が負の材料からなるコア部では、コア周辺部からコア中心部に向かうに従って、分子が長手方向により高い配向度で配向している形態とするのであるから、延伸時にコア中心部の方が周辺部より低い温度にするとともに、コア中心部の分子が延伸配向するのに必要な温度に調整すればよい。これには加熱部において一気に外側から強力な電熱加熱を行い、周辺部の温度を急激に上げてやればよい。具体的には図9の様な多段加熱ゾーンを有する延伸機にて初めの1～2段を冷却ゾーンとし、続いて3段目で一気に目標の温度まで加熱するゾーンとすることにより、プリフォーム周辺部の温度をコア部の温度より高くすることが可能である。

30

【0020】

延伸時の温度差は、用いる材料によって好ましい範囲が異なるが、延伸配向度に差を持たせるためには、通常、温度差は5以上150以下であるのが好ましく、10以上100以下であるのが好ましく、20以上75以下であるのが特に好ましい。この温度差が5以下であるとGI-POFとして作用するだけの十分な屈折率分布が得られない。また150以上であるとプラスチックは外周だけが熔融して内部が固い状態なので延伸できないことがある。

40

【0021】

この様に、本発明では、均一組成の固有複屈折の材料からなるコア部を有するプリフォームを作製し、分子延伸時にコアから周辺部に向かって加熱温度に分布を持たせるなどの手法によって、分子配向状態を不均一にすることによって、相対的に、長手方向に垂直な面における屈折率分布構造を形成している。本発明の光ファイバは、高周波数帯域の伝送が可能な上に、製造コストを軽減でき、しかも温湿度ロバストネスが改善されている。

【0022】

本発明の光ファイバの一形態は、上記コア部とコア部の周辺を被覆するクラッド部とを有する光ファイバである。前記コア部および前記クラッド部は、少なくとも重合性モノマーを含む重合性組成物を重合させて得られた重合体よりなる。以下、コア部およびクラッ

50

ド部の作製に用いられる材料についてそれぞれ説明する。

【0023】

[重合性モノマー]

本発明におけるコア部の原料の重合性モノマーとしては、光透過性が高い熱可塑性の原料を選択するのが好ましい。光透過性が高い熱可塑性の原料としては例えば、以下のような(メタ)アクリル酸エステル類(フッ素不含(メタ)アクリル酸エステル(a)、含フッ素(メタ)アクリル酸エステル(b))、スチレン系化合物(c)、ビニルエステル類(d)、炭酸エステル類(e)等を例示することができ、コア部はこれらのホモポリマー、あるいはこれらモノマーの2種以上からなる共重合体、およびホモポリマー及び/または共重合体の混合物から形成することができる。

10

【0024】

特に本発明を実現するためには、容易に複屈折を発現しやすいものが好ましい。固有複屈折が正のものとしては、ポリカーボネート、メタクリル酸ベンジルなどが上げられ、固有複屈折が負のものとしては、メタクリル酸メチル、スチレン、 α -メチルスチレン、クロロスチレン、プロモスチレン等が挙げられ、これらを好ましく用いることができる。固有複屈折はその素材を重合してみても一軸延伸物を作成し、複屈折を計ることにより、知ることができる。複屈折を発現させる素材であれば本発明の手法にて使用できるので、上記素材に限定されるものではなく、モノマーの単独あるいは共重合体からなるポリマーの屈折率がクラッド部のそれに比べて同等かあるいはそれ以上になるように構成モノマーの種類、組成比を組むことが好ましい。

20

【0025】

さらに、作製する光学部材を近赤外光用途に用いる場合は、構成するC-H結合に起因した吸収損失が起こるために、C-H結合の水素原子を重水素原子やフッ素などで置換した重合体(例えば、特許3332922号公報などに記載されているような重水素化ポリメチルメタクリレート(PMMA-d8)、ポリトリフルオロエチルメタクリレート(P3FMA)、ポリヘキサフルオロイソプロピル2-フルオロアクリレート(HFIP2-FA)など)からコア部を形成すると、この伝送損失を生じる波長域を長波長化することができ、伝送信号光の損失を軽減することができる。なお、原料モノマーは重合後の透明性を損なわないためにも、不純物や散乱源となる異物は重合前に十分に低減させることが望ましい。

30

【0026】

また、側鎖に脂環式炭化水素基や分岐型炭化水素基を有するアクリレートを重合成分として多く含むポリマーは、脆性が強いので、PMMAなどに比べて延伸性があまりよくない。このような場合は、コア部の径の変動が軽減され、延伸時の破断等が起こり難いので、側鎖に脂環式炭化水素基や分岐型炭化水素基を有するアクリレートを重合成分として含むポリマーをコアのマトリクスに用いる場合には、目的とする性能を低減させない限り柔軟性に富む素材と共重合させたり、クラッド部や、さらにその外側に所望により形成される被覆層などに、フッ素ゴムのような樹脂を用いること等によって、脆性を補強するのが特に有効である。

【0027】

クラッド部は、コア部を伝送する光がそれらの界面で全反射するために、コア部の屈折率より低い屈折率を有し、非晶性であり、コア部との密着性が良好な材料を用いるのが好ましい。コア部とクラッド部の界面が不整状態となると光学性能が低下するため、前述のコア部用素材の中で、コア部素材よりも低い屈折率を有する素材を選ぶことが好ましい。但し、素材の選択によってコア部とクラッド部との界面の不整が起こりやすい、もしくは、図3や図4の様な理想的な屈折率分布からずれた場合などにおいては、コア部とクラッド部との間にさらに1以上の層を設けてもよい。例えば、コア部との界面(即ち、中空管の内壁面)に、コア部のマトリクスと同一組成のポリマーからなるアウターコア層を形成することにより、コア部とクラッド部との界面状態を矯正することができる。アウターコア層の詳細については後述する。勿論、アウターコア層を形成せずに、クラッド部その

40

50

ものを、コア部のマトリックスと同一組成のポリマーから形成することもできる。またアウターコア層を回転重合で作成することによってその部分の高分子鎖は周辺の円筒表面と平行な円筒曲面状に面配向するので、それによる屈折率楕円体が形成される。これを伝送光波の乱れ補正に使うこともできる。

【0028】

クラッド部の素材としては、前述のコア部用素材のものを使うことでできるが、それらの素材の中でも、タフネスに優れ、耐湿熱性にも優れているものが好ましく用いられるため、これらの観点から、クラッド部は、フッ素含有モノマーの単独重合体または共重合体からなるのが好ましい。フッ素含有モノマーとしてはフッ化ビニリデンが好ましく、フッ化ビニリデンを10重量%以上含有する1種以上の重合性モノマーを重合させて得られるフッ素樹脂が好ましく用いることができる。

10

【0029】

また、後述の溶融押し出し法により重合体を成形して、クラッド部を作製する場合は、重合体の溶融粘度が適当であることが必要である。この溶融粘度については、相関する物性として分子量が用いられ、重量平均分子量が1万～100万の範囲であることが適当であり、より好ましくは5万～50万の範囲である。

【0030】

さらに、できるだけコア部へ水分が浸入することを防ぐことが好ましく、そのためには、ポリマーの吸水率が低いポリマーをクラッド部の素材(材料)として用いてもよい。すなわち飽和吸水率(以下、吸水率と称する)が1.8%未満のポリマーを用いてクラッド部を作製するのが好ましい。より好ましくは1.5%未満のポリマー、さらに好ましくは1.0%未満のポリマーを用いてコアを作製するのが好ましい。ここで本発明における吸水率(%)は、ASTMD570試験法に従い、23℃の水中に試験片を1週間浸漬し、そのときの吸水率を測定することにより算出することができる。

20

【0031】

[重合開始剤]

重合開始剤としては、用いるモノマーや重合方法に応じて適宜選択することができ、例えば、過酸化ベンゾイル(BPO)、tert-ブチルパーオキシ-2-エチルヘキサネート(PBO)、ジ-tert-ブチルパーオキシド(PBD)、tert-ブチルパーオキシイソプロピルカーボネート(PBI)、n-ブチル-4,4-ビス(tert-ブチルパーオキシ)バラレート(PHV)などのパーオキサイド系化合物や、2,2'-アゾビスイソブチロニトリル、2,2'-アゾビス(2-メチルブチロニトリル)、1,1'-アゾビス(シクロヘキサン-1-カルボニトリル)、2,2'-アゾビス(2-メチルプロパン)、2,2'-アゾビス(2-メチルブタン)、2,2'-アゾビス(2-メチルペンタン)、2,2'-アゾビス(2,3-ジメチルブタン)、2,2'-アゾビス(2-メチルヘキサン)、2,2'-アゾビス(2,4-ジメチルペンタン)、2,2'-アゾビス(2,3,3-トリメチルブタン)、2,2'-アゾビス(2,4,4-トリメチルペンタン)、3,3'-アゾビス(3-メチルペンタン)、3,3'-アゾビス(3-メチルヘキサン)、3,3'-アゾビス(3,4-ジメチルペンタン)、3,3'-アゾビス(3-エチルペンタン)、ジメチル-2,2'-アゾビス(2-メチルプロピオネート)、ジエチル-2,2'-アゾビス(2-メチルプロピオネート)、ジ-tert-ブチル-2,2'-アゾビス(2-メチルプロピオネート)などのアゾ系化合物が挙げられる。

30

40

なお、重合開始剤は勿論これらに限定されるものではなく、2種類以上を併用してもよい。

【0032】

[連鎖移動剤]

コア部およびクラッド部の作製時には、重合性モノマーを連鎖移動剤の存在下で重合するのが好ましい。前記連鎖移動剤は、主に重合体の分子量を調整するために用いられる。連鎖移動剤を用いると、重合性モノマーからポリマーを形成する際に、重合速度および重

50

合度を前記連鎖移動剤によってより制御することができ、重合体の分子量を所望の分子量に調整することができる。例えば、得られたプリフォームを延伸により線引きして光ファイバとする際に、分子量を調整することによって延伸時における機械的特性を所望の範囲とすることができ、生産性の向上にも寄与する。

【0033】

前記連鎖移動剤については、併用する重合性モノマーの種類に応じて、適宜、種類および添加量を選択することができる。各モノマーに対する連鎖移動剤の連鎖移動定数は、例えば、ポリマーハンドブック第3版（J. BRANDRUPおよびE. H. IMMERGUT編、JOHN WILEY & SON発行）を参照することができる。また、該連鎖移動定数は大津隆行、木下雅悦共著「高分子合成の実験法」化学同人、昭和47年刊を参考にして、実験によっても求めることができる。

10

【0034】

連鎖移動剤としては、アルキルメルカプタン類（例えば、n-ブチルメルカプタン、n-ペンチルメルカプタン、n-オクチルメルカプタン、n-ラウリルメルカプタン、tert-ドデシルメルカプタン等）、チオフェノール類（例えば、チオフェノール、m-プロモチオフェノール、p-プロモチオフェノール、m-トルエンチオール、p-トルエンチオール等）などを用いることが好ましい。特に、n-オクチルメルカプタン、n-ラウリルメルカプタン、tert-ドデシルメルカプタンのアルキルメルカプタンを用いるのが好ましい。また、C-H結合の水素原子が重水素原子やフッ素原子で置換された連鎖移動剤を用いることもできる。なお、前記連鎖移動剤は、2種類以上を併用してもよい。勿

20

【0035】

[その他の添加剤]

その他、コア部およびクラッド部には、光伝送性能を低下させない範囲で、前述のドーパントの様なその他の添加剤を添加することができる。例えば、コア部には、クラッド部との屈折率差を大きくさせるために、屈折率調整剤を含有させてもよい。またコア部およびクラッド部の耐候性や耐久性などを向上させる目的で、安定剤を添加することができる。また、光伝送性能の向上を目的として、光信号増幅用の誘導放出機能化合物を添加することもできる。該化合物を添加することにより、減衰した信号光を励起光により増幅することができ、伝送距離が向上するので、例えば、光伝送リンクの一部にファイバ増幅器として使用することができる。これらの添加剤も、前記原料モノマーに添加した後、重合することによって、コア部およびクラッド部に含有させることができる。

30

【0036】

次に、本発明の光ファイバの製造方法について説明するが、本発明の光ファイバの製造方法は以下の方法に限定されるものではない。以下では、コア部とクラッド部とを有する態様について説明する。

本発明の光ファイバは、光ファイバのプリフォームを延伸する工程を含む方法によって製造することができる。プリフォームの製造方法としては、重合体を押し出す方法とクラッド部となる円筒管にモノマーを入れて重合させる方法などを適用することができる。以下に後者のプリフォーム製造法を用いた例を中心とした説明をする。この例は、ポリフッ化ビニリデン樹脂のような含フッ素樹脂からなる円筒管を熔融押し出し成形してクラッド部となる円筒管を作製する第1の工程と、前記円筒管の中空部でコア部形成用重合性組成物を重合させることによりコア部となる領域を形成し、コア部およびクラッド部に各々対応する領域からなるプリフォームを作製する第2の工程と、得られたプリフォームを所望の形態に加工する第3の工程とを含むプラスチック光学部材の製造方法である。第1の工程と第2の工程との間に、クラッド部の内壁面にアウターコア層を形成する工程を実施してもよい。

40

【0037】

前記クラッド部、アウターコア部およびコア部を構成するポリマー成分の分子量は、プ

50

リフォームを延伸する関係から、重量平均分子量で1万～100万の範囲であることが好ましく、3万～50万であることがさらに好ましい。さらに延伸性の観点で分子量分布(MWD:重量平均分子量/数平均分子量)も影響する。MWDが大きくなると、極端に分子量の高い成分がわずかでもあると延伸性が悪くなり、場合によっては延伸できなくなることもある。したがって、好ましい範囲としては、MWDが4以下が好ましく、さらには3以下が好ましい。分子量は、重合性モノマーの重合速度および重合度を、重合開始剤または連鎖移動剤等によって調整することができる。

【0038】

前記第1の工程では、クラッド部に相当する1層の管を作製する。中空の円筒管の作製方法としては、例えばモノマーを重合させつつ中空管状に成形してクラッド部を作製する特許3332922号に記載されている様な回転重合による製造方法や樹脂の溶融押し出しなどが挙げられる。

10

【0039】

重合性組成物を回転重合によって製造する場合は、例えば、前記クラッド部形成用重合組成物を円筒形状の重合容器に、またはアウターコア部形成用重合性組成物をフッ素樹脂よりなるパイプ(さらに外側に円筒形状の容器に入れられたもの)に注入し、該重合容器を回転(好ましくは、円筒の軸を水平に維持した状態で回転)させつつ、前記重合性モノマーを重合させることにより、1層(一重)円筒形状の重合体からなる構造体を作製することができる。重合容器に注入する前にフィルターにより濾過して、組成物中に含まれる塵埃を除去するのが好ましい。また、性能劣化や前工程、後工程の煩雑化などを起こさない限りにおいて、特開平10-293215号公報に記載された原料の粘度調整のように取り扱いやすい様に粘度などの調整やプレ重合を行うことによる重合時間の短縮などを行うことができる。重合温度および重合時間は、用いるモノマーや重合開始剤によって異なるが、一般的には、重合温度は60～150であるのが好ましく、重合時間は5～24時間であるのが好ましい。この時に、特開平8-110419号公報に記載されている様に、原料をプレ重合して原料粘度を上昇させてから行い成形に要する重合時間を短縮しても良い。また、重合に使用する容器が回転によって変形してしまうと、得られる円筒管に歪みを生じさせることから、十分な剛性を持つ金属管・ガラス管を用いることが望ましい。

20

【0040】

また、ペレット状や粉末状の樹脂(好ましくはフッ素樹脂)を円筒形状の容器に入れ、両端を塞ぎ、該容器を回転(好ましくは、円筒の軸を水平に維持した状態で回転)させつつ該樹脂の融点以上に加熱し、前記樹脂を溶融させることにより、重合体からなる中空管を作製することができる。この時に、溶融による樹脂の熱または酸化、および熱酸分解を防ぐために、該重合容器内を窒素やアルゴンなどの不活性気体雰囲気下で行うことや、樹脂を事前に充分乾燥させておくことが好ましい。

30

【0041】

一方、重合体を溶融押し出してクラッド部を形成する場合は、一旦、重合体を作製した後、押し出し成形等の成形技術を利用して、所望の形状(本実施の形態では円筒形状)の構造体を得ることもできる。これらに用いられる溶融押し出し装置としては、主として、インナーサイジングダイ方式とアウターダイ減圧吸引方式の2つのタイプがある。

40

【0042】

図6に、インナーサイジングダイ方式の溶融押し出し装置の断面図の一例を示して、インナーサイジングダイ方式の成形の概略を説明する。

装置本体11からベント付き1軸スクリュウ押し出し機(不図示)により、クラッド部の原料ポリマー40がダイ本体14に押し出される。ダイ本体14の内部には、原料ポリマー40を流路40a, 40bに導くガイド30が挿入されている。原料ポリマー40は、このガイド30を経て、ダイ本体14とインナーロッド31との間の流路40a, 40bを通り、ダイの出口14aから押し出され、円筒中空管の形状のクラッド19が形成される。クラッド19の押し出し速度については特に制限されないが、形状を均一に保つとともに、生産性

50

の点から、押し出し速度は $1\text{ cm/min} \sim 100\text{ cm/min}$ の範囲であることが好ましい。

【0043】

ダイ本体14には、原料ポリマー40を加熱するための加熱装置が設置されているのが好ましい。例えば、原料ポリマー40の進行方向に沿って、ダイ本体14を覆うように1つまたは2以上の加熱装置（例えば、蒸気、熱媒油、電気ヒータなど利用した装置）を設置してもよい。一方、ダイの出口14aでは、温度センサ41を取り付け、この温度センサ41によってダイの出口14aでのクラッド19の温度を測定して温度を調節するのが好ましい。温度は、原料ポリマー40のガラス転移温度以下であることが、クラッド19の形状を均一に保持することが可能となるために好ましい。また、クラッド19の温度が40以上であることが、急激な温度変化による形状の変化を抑制することが可能になり好ましい。このクラッド19の温度の制御は、例えば、冷却装置（例えば、水、不凍液、オイルなどの液体や、電子冷却などを使用した装置）をダイ本体14に取り付けてもよいし、ダイ本体14の自然空冷により冷却してもよい。ダイ本体に加熱装置が設置されている場合は、冷却装置は加熱装置の位置より下流に取り付けるのが好ましい。

10

【0044】

次に、アウターダイ減圧吸引方式の溶融押し出し装置の製造ラインの一例を図7に、および成形ダイス53の斜視図の一例を図8に示して、アウターダイ減圧吸引方式の成形の概略を説明する。

図7に示す製造ライン50は、溶融押し出し装置51と、押し出しダイス52と、成形ダイス53と、冷却装置54と、引取装置55とを備える。ペレット投入ホッパ（以下、ホッパと称する）56から投入された原料ポリマーは、溶融押し出し装置51内部で溶融され、押し出しダイス52によって押し出され、成形ダイス53に送り込まれる。押し出し速度 S は、 $0.1S(\text{m/min}) \sim 1.0$ の範囲が好ましく、より好ましくは $0.3S(\text{m/min}) \sim 0.5$ であり、最も好ましくは $0.4S(\text{m/min}) \sim 1.0$ である。しかしながら、本発明において押し出し速度 S は、前述した範囲に限定されるものではない。

20

【0045】

図8に示す様に、成形ダイス53は、成形管70を備えており、成形管70に溶融樹脂60を通すことにより、溶融樹脂60が成形され円筒形状のクラッド61が得られる。成形管70には、多数の吸引孔70aが設けられていて、成形管70の外側に設けられた減圧チャンバ71を真空ポンプ57（図7参照）により減圧にすることで、クラッド61の外壁面が、成形管70の成形面（内壁面）70bに密着するために、クラッド61の肉厚が一定になって成形される。なお、減圧チャンバ71内の圧力は、 $20\text{ kPa} \sim 50\text{ kPa}$ の範囲とすることが好ましいが、この範囲に限定されるものではない。なお、成形ダイス53の入口に、クラッド61の外径を規定するためのスロート（外径規定部材）58を取り付けるのが好ましい。

30

【0046】

成形ダイス53により形状が調整されたクラッド61は、冷却装置54に送られる。冷却装置54には、多数のノズル80が備えられており、それらのノズル80から冷却水81をクラッド61に向けて放水することで、クラッド61を冷却して、固化させる。冷却水81は、受け器82で回収して、排出口82aから排出することもできる。クラッド61は、冷却装置54から引取装置55により引き出される。引取装置55は、駆動ローラ85と加圧ローラ86とが備えられている。駆動ローラ85には、モータ87が取り付けられており、クラッド61の引取速度の調整が可能になっている。また、クラッド61を挟んで駆動ローラ85と対向して配置されている加圧ローラ86により、クラッド61の微小な位置のずれを修正することが可能となっている。この駆動ローラ85の引取速度と溶融押し出し装置51の押し出し速度とを調整したり、加圧ローラ86によるクラッド61の移動位置を微調整したりすることにより、クラッド61の形状、特に肉厚を均一にすることが可能となる。

40

【0047】

50

また、クラッド部は機械的強度向上や難燃性などの多種の機能性を付与させるために複層からなっているとしてもよく、内壁の算術平均粗さが特定の範囲の中空管を作製した後、その外壁面をフッ素樹脂等によって被覆することもできる。

【0048】

得られるクラッドの外径 D_1 は本発明の場合、積極的にコア部と周辺部の温度差を付ける観点から一定の太さを有することが好ましく、 $20 \leq D_1$ (mm) ≤ 500 の範囲であることが好ましく、より好ましくは $25 \leq D_1$ (mm) ≤ 100 の範囲である。さらに、クラッド部の肉厚 t は、形状を保つことができる限りにおいて薄くすることが可能であるが、 $2 \leq t$ (mm) ≤ 20 の範囲であることが好ましい。また、プリフォームの長さは安定重合・延伸までのマージンを持たせる観点から 200 mm 以上であることが好ましく、より好ましくは 500 mm 以上 3000 mm 以下である。しかしながら、本発明において、それらの範囲は、前述したものに限定されるものではない。

10

【0049】

前記円筒形状の重合体からなる構造体は、コア部の原料となる重合性組成物を注入できるように、底部を有しているのが好ましい。底部は前記円筒管を構成している重合体と密着性および接着性に富む材質であるのが好ましい。また、底部を前記円筒管と同一の重合体で構成することもできる。重合体からなる底部は、例えばクラッド部を重合する前、もしくは、いずれかの方法によって中空管形成後に、重合容器を垂直に静置した状態で、重合容器内に少量の重合性モノマーを注入し、重合することによって形成することができる。

20

【0050】

前記第2の工程では、作製したクラッドとなる中空管の中空部に重合性モノマーを注入し、重合させる。コア部形成用重合性組成物には、所望により重合開始剤、連鎖移動剤等を含ませてもよい。前記組成物において、各成分の含有割合の好ましい範囲は、その種類に応じて異なり一概に定めることはできないが、一般的には、重合開始剤は、重合性モノマーに対して $0.005 \sim 0.5$ 重量%であるのが好ましく、 $0.010 \sim 0.5$ 重量%であるのがより好ましい。前記連鎖移動剤は、重合性モノマーに対して $0.10 \sim 0.40$ 重量%であるのが好ましく、 $0.15 \sim 0.30$ 重量%であるのがより好ましい。

【0051】

コア重合の工程においては、特開平9-269424号公報記載のように加圧するもしくは特許3332922号に記載されているように減圧して重合を行っても良く、更には、重合工程で状況に応じて圧力を変化させても良い。これら操作により、重合性モノマーの沸点近傍の温度である前記関係式を満たす T_1 および T_2 での重合の重合効率を向上させることができる。加圧状態で重合を行う（以下、加圧状態で行う重合を「加圧重合」という）場合は、前記モノマーを注入した中空管を、治具の中空部に挿入して、治具に支持された状態で重合を行うのが好ましい。さらに、重合前のモノマーを減圧雰囲気中で脱水・脱気する事でさらに気泡の発生を低減させることができる。

30

【0052】

重合による体積変化などを考慮して円筒上の治具内に中空管を配置して重合しても良い。前記治具は、前記中空管を挿入可能な中空を有する形状であり、該中空部は前記中空管と類似の形状を有しているのが好ましい。即ち、前記治具も円筒形状であるのが好ましい。治具は、加圧重合中に前記中空管が変形するのを抑制するとともに、加圧重合が進むに従ってコア部となる領域が収縮するのを緩和可能に支持する。従って、治具の中空部は、前記中空管の外径より大きい径を有し、前記中空管を非密着状態で支持するのが好ましい。前記治具の中空部は、前記中空管の外径に対して $0.1\% \sim 40\%$ だけ大きい径を有しているのが好ましく、 $10 \sim 20\%$ だけ大きい径を有しているのがより好ましい。

40

【0053】

なお、このコア重合の工程終了時において、冷却操作を圧力の制御下において一定の冷却速度で行うことによって、重合後に発生する気泡を抑制することができる。コア部重合時に窒素等の不活性ガスで重合容器内を加圧し、不活性ガス雰囲気下で加圧重合を進行さ

50

せることが、コア部の圧力応答のために好ましい。しかし、基本的にプリフォーム中から気体を完全に抜くことは不可能であり、冷却工程などでポリマーが急激に収縮すると空隙に気体が凝集し気泡核が形成されて気泡の発生を招いてしまう。これを防ぐには冷却工程で冷却速度を $0.001 \sim 3$ /分程度に制御することが好ましく、 $0.01 \sim 1$ /分程度に制御することがより好ましい。この冷却操作はポリマーの T_g 、特にコア領域の T_g に近づく過程でのポリマーの体積収縮の進行に応じて、2段以上で行っても良い。この場合、重合直後は冷却速度を早くし、徐々に緩やかにしてゆくことが好ましい。

【0054】

以上の操作によって得られたプリフォームは、均一な屈折率の分布および十分な光透過性を有するとともに、気泡およびマクロ空隙等の発生は抑制され、また、光を反射してファイバ内部に閉じ込めるクラッド部とコア部との界面の平滑性が良好であることが、高性能、高収率のためには好ましい。

【0055】

また上記以外のプリフォーム作成手段としてはペレット状にされたポリメチルメタクリレートを溶融押し出し法によってロッド状に押し出したものや、その後十分な無配向処理を施すためロッド状の金型にはめ込んで溶融温度以上に上げる処理をしたものなども使用できる。その他いかなる手法にても、均一な屈折率の分布および十分な光透過性を有するとともに、気泡およびマクロ空隙等の発生が抑制されているプリフォームを製作できる手法であれば、上記に制限されるものではない。

【0056】

次に、得られたプリフォームを溶融延伸して（第3の工程）、プラスチック光ファイバを作製する。

延伸工程に使用可能な延伸装置の断面模式図を図9に示す。図8に示す延伸装置では、プリフォーム109を、アーム101のプリフォームフォルダ108に取り付け、吊り下げた状態で支持する。次に、モータ104によってスクリー駆動装置103を駆動させると、スクリー102が一定の速度で回転し、アーム101が降下し、プリフォーム109はヒーター110に挿入される。プリフォーム109は、ヒーター110の各コンパートメント内で順次加熱され溶融する。溶融したプリフォーム109の先端は、ファイバ加熱炉110の下方に配置された、冷却ファン113aから冷風が送りこまれている冷却室113bの内部を通過して、冷却された後、ヒーター110の下方に設置された引取りロール115のニップ部に挟み込まれ、下方向に引取られる。引取りロール115は引取りモータ116によって駆動され、プリフォーム109を下方向に引取る力を調節可能になっている。アーム101によってプリフォーム109を一定速度で降下させるとともに、引取りロール115により一定速度で引取ることにより、プリフォーム109は連続的に引取り延伸され、ファイバ109'が連続的に製造される。

【0057】

なお、延伸軸は、調芯装置105により、ズレが調整できるようになっている。また、プリフォーム109を下方向に引取る引取り力は、例えば、プリフォーム9がヒーター110から引取りロール115に至る間で、プリフォーム109の張力を測定する張力測定器114a、プリフォームの径を測定するレーザ測定器114b、および/または線引長さを測定する距離カウンタ114cからの測定値に基づいてコンピュータ117が引取りモータ116を制御することで、最適化することができる。

【0058】

図9に示す様に、ヒーター110が多段のコンパートメントから構成されている場合は、各コンパートメント内の温度調整を正確に行なうことにより、上述した、中心部と周辺部との温度差を容易に形成できる。各コンパートメントの温度調整を正確に行うためには、図9に示す様に、各コンパートメントをオリフィス119で仕切り、各コンパートメントの温度雰囲気は隣接するコンパートメントに漏れ難くするのが好ましい。

【0059】

例えば、固有複屈折が正の材料からなる場合、コア中心部からコア周辺部に向かって、

10

20

30

40

50

次第に低温になる様に温度を調整すればよいので、プリフォームが上部から供給されてきた1段目のコンパートメント等の上流の加熱ゾーンで、先ず十分な加熱を急激に与え、2段目以降のコンパートメント内等の下流の加熱ゾーンで延伸が開始され、円筒形のプリフォームは徐々にその径が減少し、実質的に円錐形状になる。所望のファイバ径になるまでの間に、冷気（好ましくは加熱ゾーンの延伸温度よりも30以下）を吹き付けて急速に冷却しながら延伸して最終ファイバ径に調整するという手法をとるのが好ましい。冷気の吹き付けにより周辺部は急冷されるが、中心部までは冷却されないため、コア部内部に温度分布が生じる。

【0060】

一方、固有複屈折が負の材料からなる場合は、コア周辺部からコア中心部に向かって次第に低温になる様に温度を調整すればよいので、プリフォームが上部から供給されてきた1段目、ないしは1・2段目のコンパートメント内等の上流のゾーンを30以下に調整して、プリフォームが予熱されないようにしておき、次に通過するコンパートメントにて短時間で急速な加熱を与えてコア周辺部を十分な温度に上げ、コア中心部の温度が上がりきって温度分布が均一にならない内に延伸を始めて、最終ファイバ径に調整するという手法をとる。上流の加熱ゾーンにおける冷気は30以上であると予熱を防ぎきれなくなり、十分な温度差が付かなくなる。

【0061】

いずれの場合も最終ファイバ径になってから冷却手段をとることにより、その後のパスローラー通過時に変形を受けることを防止できる。

【0062】

延伸加熱温度は、プリフォームの材質等に応じて適宜決定することができるが、一般的には、180～250が好ましい。延伸条件（延伸温度等）は、得られたプリフォームの径、所望のプラスチック光ファイバの径および用いた材料等を考慮して、適宜決定することができる。特に、本発明のファイバにおいては、その断面の中心方向から円周に向け複屈折率が変化する構造を有するため、円周側の温度を高めにする場合には、プリフォーム表面を加熱する電気炉を用いて円周部と中心部で温度差が生じるようにすることが好ましく、一方、中心側の温度を高めにする場合は内部まで迅速に温度が上昇するレーザー光による加熱手段を用いて内部まで十分に迅速に加熱し、延伸後段で冷風を送風して急冷するのが好ましい。

【0063】

延伸は線形とその真円度を維持させるため、中心位置を一定に保つ調芯機構を有する延伸紡糸装置を用いて行うのが好ましい。

また、線引時の張力は、特開平7-234322号公報に記載されているように、熔融したプラスチックを配向させるために10g以上とすることができ、もしくは特開平7-234324号公報に記載されているように、熔融延伸後に歪みを残さないようにするために100g以下とすることが好ましい。また、特開平8-106015号公報に記載されているように、延伸の際に予備加熱工程を実施する方法などを採用することもできる。

【0064】

以上の方法によって得られるファイバについては、得られる素線の破断伸びや硬度について特開平7-244220号公報に記載の様に規定することでファイバの曲げや側圧特性を改善することができる。また、特開平8-54521号公報のように低屈折率層を周辺に設けて反射層として機能させて、さらに伝送性能を向上させることもできる。また、反射層作製手段としては、PMMAロッド単体を延伸してファイバ最終径とした後に、クラッドとなる様な、低屈折率媒体を塗布する手法によっても構わない（塗布型クラッドの例としては、Addison Clear Wave社「ACR220B」塗布UV硬化型がある）。

【0065】

前述した方法で製造されたプラスチック光ファイバは、そのままの形態で種々の用途に供することができる。また、保護や補強を目的として、その外側に被覆層を有する形態、

10

20

30

40

50

繊維層を有する形態、および/または複数のファイバを束ねた状態で、種々の用途に供することができる。被覆工程は、例えばファイバ素線の通る穴を有する対向したダイスにファイバ素線を通し、対向したダイス間に溶融した被覆用の樹脂を満たし、ファイバ素線をダイス間に移動することで被覆されたファイバを得ることができる。被覆層は可撓時に内部のファイバへの応力から保護するため、ファイバ素線と融着していないことが望ましい。さらにこのとき、溶融した樹脂と接することでファイバ素線に熱的ダメージが加わるので、極力ダメージを押さえるような移動速度や低温で溶融できる樹脂を選ぶことも望ましい。このとき、被覆層の厚みは被覆材の溶融温度や素線の引き抜き速度、被覆層の冷却温度による。

その他にも、光部材に塗布したモノマーを重合させる方法やシートを巻き付ける方法、押し出し成形した中空管に光部材を通す方法などが知られている。

10

【0066】

素線を被覆することにより、プラスチック光ファイバケーブル製造が可能となる。その際にその被覆の形態として、被覆材とプラスチック光ファイバ素線の界面が全周にわたって接して被覆されている密着型の被覆と、被覆材とプラスチック光ファイバ素線の界面に空隙を有するルース型被覆がある。ルース型被覆では、たとえばコネクタとの接続部などにおいて被覆層を剥離した場合、その端面の空隙から水分が浸入して長手方向に拡散されるおそれがあるため、通常は密着型が好ましい。しかし、ルース型の被覆の場合、被覆と素線が密着していないので、ケーブルにかかる応力や熱とはじめとするダメージの多くを被覆材層で緩和させることができ、素線にかかるダメージを軽減させることができるため、使用目的によっては好ましく用いることができる。水分の伝播については、空隙部に流動性を有するゲル状の半固体や粉粒体を充填することで、端面からの水分伝播を防止でき、かつ、これらの半固体や粉粒体に耐熱や機械的機能の向上などの水分伝播防止と異なる機能をあわせ持つようにすることでより高い性能の被覆を形成できる。

20

【0067】

ルース型の被覆を製造するには、クロスヘッドダイの押し出し口ニップルの位置を調整し減圧装置を加減することで空隙層を作ることができる。空隙層の厚みは前述のニップル厚みと空隙層を加圧/減圧することで調整が可能である。

【0068】

さらに、必要に応じて被覆層(1次被覆層)の周辺にさらに被覆層(2次被覆層)を設けても良い。2次被覆層に難燃剤や紫外線吸収剤、酸化防止剤、ラジカル捕獲剤、昇光剤、滑剤などを導入してもよく、耐透湿性能を満足する限りにおいては、1次被覆層にも導入は可能である。なお、難燃剤については臭素を始めとするハロゲン含有の樹脂や添加剤や燐含有のものがあるが、毒性ガス低減などの安全性の観点で難燃剤として金属水酸化物を加える主流となりつつある。金属水酸化物はその内部に結晶水として水分を有しており、またその製法過程での付着水が完全に除去できないため、金属水酸化物による難燃性被覆は本発明の対透湿性被覆(1次被覆層)の外層被覆(2次被覆層)として設けることが望ましい。

30

【0069】

また、複数の機能を付与させるために、様々な機能を有する被覆を積層させてもよい。例えば、本発明のような難燃化以外に、素線の吸湿を抑制するためのバリア層や水分を除去するための吸湿材料、例えば吸湿テープや吸湿ジェルを被覆層内や被覆層間に有することができ、また可撓時の応力緩和のための柔軟性素材層や発泡層等の緩衝材、剛性を挙げるための強化層など、用途に応じて選択して設けることができる。樹脂以外にも構造材として、高い弾性率を有する繊維(いわゆる抗張力繊維)および/または剛性の高い金属線等の線材を熱可塑性樹脂に含有すると、得られるケーブルの力学的強度を補強することができることから好ましい。

40

抗張力繊維としては、例えば、アラミド繊維、ポリエステル繊維、ポリアミド繊維が挙げられる。また、金属線としてはステンレス線、亜鉛合金線、銅線などが挙げられる。いずれのものも前述したものに限定されるものではない。その他に保護のための金属管の外

50

装、架空用の支持線や、配線時の作業性を向上させるための機構を組み込むことができる。

【0070】

また、ケーブルの形状は使用形態によって、素線を同心円上にまとめた集合ケーブルや、一列に並べたテープ心線と言われる態様、さらにそれらを押え巻やラップシースなどでまとめた集合ケーブルなど用途に応じてその形態を選ぶことができる。

【0071】

また、本発明によって得られる大口径の光ファイバを用いたケーブルは、軸ずれに対して従来の光ファイバに比べて許容度が高いため突き合せによる接合でも用いることができるが、端部に接続用光コネクタを用いて接続部を確実に固定することが好ましい。コネクタとしては一般に知られている、PN型、SMA型、SMI型などの市販の各種コネクタを利用することも可能である。

【0072】

本発明の光学部材としての光ファイバ、および光ファイバケーブルを用いて光信号を送るシステムには、種々の発光素子や受光素子、光スイッチ、光アイソレータ、光集積回路、光送受信モジュールなどの光部品を含む光信号処理装置等で構成される。また、必要に応じて他の光ファイバなどと組み合わせてもよい。それらに関連する技術としてはいかなる公知の技術も適用でき、例えば、プラスチックオプティカルファイバの基礎と実際（エヌ・ティー・エス社発行）、日経エレクトロニクス2001.12.3号110頁～127頁「プリント配線基板に光部品が載る、今度こそ」などを参考にすることができる。前記文献に記載の種々の技術と組み合わせることによって、コンピュータや各種デジタル機器内の装置内配線、車両や船舶などの内部配線、光端末とデジタル機器、デジタル機器同士の光リンクや一般家庭や集合住宅・工場・オフィス・病院・学校などの屋内や域内の光LAN等をはじめとする、高速大容量のデータ通信や電磁波の影響を受けない制御用途などの短距離に適した光伝送システムに好適に用いることができる。

【0073】

さらに、IEICE TRANS. ELECTRON., VOL. E84-C, No. 3, MARCH 2001, p. 339-344「High-Uniformity Star Coupler Using Diffused Light Transmission」、エレクトロニクス実装学会誌 Vol. 3, No. 6, 2000 476頁～480ページ「光シートバス技術によるインタコネクション」の記載されているものや、特開平10-123350号、特開2002-90571号、特開2001-290055号等の各公報に記載の光バス；特開2001-74971号、特開2000-329962号、特開2001-74966号、特開2001-74968号、特開2001-318263号、特開2001-311840号等の各公報に記載の光分岐結合装置；特開2000-241655号等の公報に記載の光スターカプラ；特開2002-62457号、特開2002-101044号、特開2001-305395号等の各公報に記載の光信号伝達装置や光データバスシステム；特開2002-23011号等に記載の光信号処理装置；特開2001-86537号等に記載の光信号クロスコネクトシステム；特開2002-26815号等に記載の光伝送システム；特開2001-339554号、特開2001-339555号等の各公報に記載のマルチファンクションシステム；や各種の光導波路、光分岐器、光結合器、光合波器、光分波器などと組み合わせることで、多重化した送受信などを使用した、より高度な光伝送システムを構築することができる。以上の光伝送用途以外にも照明、エネルギー伝送、イルミネーション、センサ分野にも用いることができる。

【実施例】

【0074】

以下に実施例を挙げて本発明をさらに具体的に説明する。以下の実施例に示す材料、試薬、割合、操作等は、本発明の精神から逸脱しない限り適宜変更することができる。従って、本発明の範囲は以下に示す具体例に制限されるものではない。

【 0 0 7 5 】

[実施例 1 ~ 9]

図 6 に示すのと同様の構成のインナーサイジングダイ方式の溶融押し出し装置によって、厚さ 1 mm、直径 20 mm、長さ 1 m のポリフッ化ビニリデン (P V D F) の中空円筒管 (パイプ) を作製した。そのパイプの片端を P V D F のキャップをはめて蓋をし、中空部にコア部が負の複屈折材料である P M M A からなるように下記 M M A 処方液を注入した。

《 M M A 処方液 》

メタクリル酸メチル	5 0 0 g	
メチルアゾビスイソブチレート	0 . 2 5 g	10
n - ラウリルメルカプタン	1 . 7 5 g	

【 0 0 7 6 】

前記 M M A 処方液を注入された中空管をオイルバスに入れて、60 24 時間 90 24 時間 120 24 時間のステップ条件で重合し、プリフォームを作製した。

【 0 0 7 7 】

《 延伸 》

上記プリフォームをリング状電気炉を有した図 9 と同様の構成の延伸機により延伸した。ヒーターゾーンは図 9 の様に 5 段式となっており、各エリアの温度雰囲気が隣に漏れにくくするため、オリフィスと称する板 119 が突き出している。上から第 1 ・ 第 2 ゾーンは 20 の常温風が常に流されており、第 3 ゾーンの設定温度を 205 、 210 、 215 、 220 、 225 、 230 、 235 、 240 および 245 の 9 水準にして、第 4 ゾーン・第 5 ゾーンはそれぞれ 170 ・ 140 に固定して、延伸をそれぞれ実施した。実施例 1 ~ 9 の各試料、外径 1 mm で長さ 50 m のファイバを得た。

【 0 0 7 8 】

本発明者は、具体的にこの手法でプリフォーム内部にどのような温度差が生じているかをモデル実験にて確認している。特別にコア中心部と該コア中心部を含み長手方向に垂直な面上に位置する外周部とに熱伝対を仕込んだプリフォームを用意して実施例 8 のヒーターゾーン設定温度 240 条件にて延伸を実行し熱伝対仕込み部分が延伸コーン部に差し掛かって延伸ファイバが切断するまで測定した結果、延伸コーン形成部 (図 5 の点 A 1 近傍) において、外周部は 213 、コア中心部は 190 であり、内外温度差が 23 付いていた。

【 0 0 7 9 】

《 伝送周波数帯域評価 》

光源として波長 650 nm の L E D を使い、半値幅 100 ピコ秒のパルス光とし、出射パルス光を開口数 0.5 の対物レンズを用いて集光し、上記の各ファイバ試料の端面から入射させた。50 m 先のもう一方の端面から出射した光をサンプリングオシロスコープで検出した。その波形の半値幅から応答周波数に換算し、伝送周波数帯域を算出した。結果を表 1 に示す。また、各試料の伝送周波数帯域を延伸温度に対してプロットしたグラフを図 10 に示す。図 10 に示すグラフから、延伸温度によって伝送周波数帯域が変化し、最大周波数が 225 付近に存在することが分かる。

【 0 0 8 0 】

《 複屈折率分布の評価 》

各ファイバ試料の長手方向中心線から垂直方向周辺部に向かったの複屈折率の分布を以下の方法で調べた。なお、ここではレターデイション { n (複屈折率 : $n_x - n_y$) \times d (試料の厚み) } の分布を評価することで、複屈折率分布を評価した。まず、実施例 1 ~ 9 の各ファイバ試料を 10 mm 長ほど用意した。これを、各試料を 1 mm 厚のガラス板上に置き、エポキシ樹脂によりガラス板上に包埋接着した (図 11)。次に、エポキシ樹脂側から (図 11 中、上から) 研磨機で削っていき、ファイバの中心線付近 (図 1 中、破線 L_1) まで削る。次に、研磨面の上にもう一枚の 1 mm 厚ガラス板を密着させてエポキシ樹脂で固める。そして、先ほどの研磨とは反対側のガラス面側から (図 11 中、下から

10

20

30

40

50

）研磨し、最初のガラス板を削りきって、更にファイバを削っていき、サンプル厚みが0.1mmとなる（図1中、破線L₂）まで削る。以上の工程により、ガラス板上に、厚さ0.1mmのファイバの長手方向に切り出したサンプルを作製した。これをオリンパス偏光顕微鏡BX51に厚肉ベレックコンペンセーターU-C T Bを付けて、その色味からレターデーションの分布を評価した。どのサンプルも中心線付近から中心線に垂直にP V D Fクラッド部との界面に向かって、レターデーションが変化していた。表1にそのレターデーション変化の絶対値を示す。

【0081】

《温湿度耐久性評価》

作製した上記の各試料について、製作した直後に及び70 90%RHで1000時間保管した後に、650nm波長の光を使ってカットバック法により伝送損失を測定し、両者の差を伝送損失変化とした。この結果も合わせて表1に示す。

【0082】

表1に示した結果から、複屈折率変化が大きいものほど伝送周波数帯域が大きいことが分かる。即ち、その変化の絶対値が大きいものほど、長手方向に垂直な面上の屈折率分布が大きく、光伝送性能に優れたGI-POFであることがわかった。

【0083】

[比較例1]

プリフォームとしては実施例1と同じ製法のものを用いた。

《延伸》

上記プリフォームを、リング状電気炉を有した図9と同様の構成の延伸機により延伸した。上から第1・第2ゾーンは140・180に、第3ゾーンの設定温度を240に、第4・第5ゾーンは170・140にそれぞれ設定して延伸し、比較例1の試料を作製した。試料は、外径1mm、ファイバ長50mであった。

【0084】

伝送周波数帯域評価、複屈折率分布評価をおよび温湿度耐久性評価を、上記実施例1～9と同一の方法で行った。結果を表1に示す。なお、複屈折率分布評価では、比較例1の試料は、レターデーションは存在するものの、その値が均一で実施例のような分布は一切見られなかった。

【0085】

[比較例2]

特許3332922号公報の実施例4に記載に従って、GI-POFを作製した。なお、この方法は、従来型のGI-POF製作手法で、ドーパントを用い、ドーパントの濃度分布に基づいて屈折率の分布を構築する方法である。上記と同様に得られた光ファイバの性質を評価した。

【0086】

10

20

30

【表 1】

試料 No.	延伸温度 (第3コンパートメント)	伝送周波数帯域 (MHz)	レタデーション (nm) 中心線→クラッド付近	伝送損失 (dB/km)
実施例 1	205℃	380	380→370	15
実施例 2	210℃	530	380→360	18
実施例 3	215℃	890	370→350	16
実施例 4	220℃	1150	360→340	19
実施例 5	225℃	1540	350→310	14
実施例 6	230℃	1240	330→280	17
実施例 7	235℃	630	280→250	12
実施例 8	240℃	340	240→230	17
実施例 9	245℃	210	150→140	18
比較例 1	240℃	105	220→210	16
比較例 2	240℃	1430	290→270	260

【産業上の利用可能性】

【0087】

本発明によれば、ファイバの長手方向に平行な断面上に複屈折率変化を付けることにより、伝送方向と垂直な断面上に屈折率分布型とすることができ、ドーパントを用いなくても、均一素材にてGI-POFを製作することができる。そしてこの手法によって作製されたファイバは、伝送周波数帯域に優れ、かつ長期耐久性や温湿度耐久性にも優れるファイバである。

【図面の簡単な説明】

【0088】

【図1】本発明の光ファイバを説明するために用いた模式図である。

【図2】特許3332922号に記載のファイバの屈折率楕円体分布を示す模式図である。

【図3】固有複屈折が正の材料からなる本発明ファイバの一例についての屈折率楕円体分布を示す模式図である。

【図4】固有複屈折が負の材料からなる本発明ファイバの一例についての屈折率楕円体分布を示す模式図である。

【図5】本発明の光ファイバを作製する途中で形成される延伸コーンの概略模式図である。

【図6】本発明の光ファイバの作製に使用可能なインナーサイジングダイ方式の溶融押し装置の断面図の一例である。

【図7】本発明の光ファイバの作製に使用可能な OUTER DYE 減圧吸引方式の溶融押し装置の製造ラインの一例である。

【図8】本発明の光ファイバの作製に使用可能な成形ダイスの斜視図の一例である。

【図9】本発明の光ファイバの作製に使用可能な延伸装置の断面模式図の一例である。

【図10】実施例の試料について、延伸温度と帯域の関係を示すグラフである。

【図11】実施例で行った複屈折率分布評価用の試料の作製方法を説明するのに用いた模

10

20

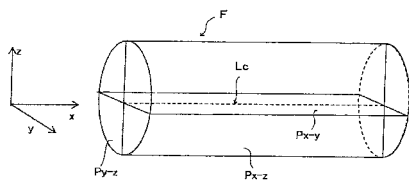
30

40

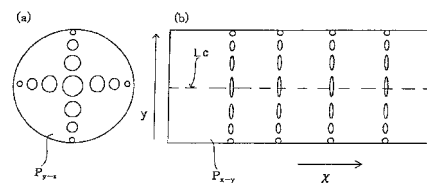
50

式図である。

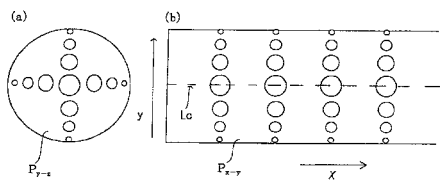
【図 1】



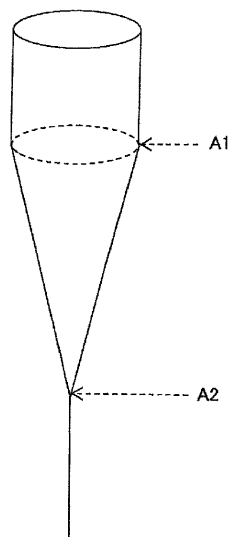
【図 4】



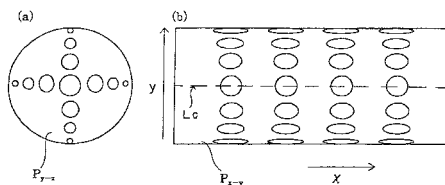
【図 2】



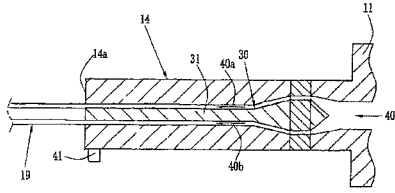
【図 5】



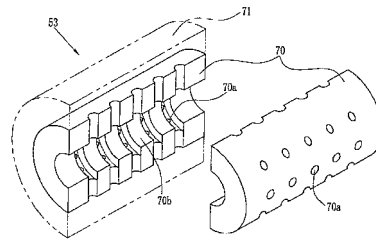
【図 3】



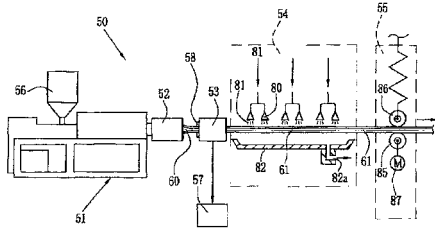
【図6】



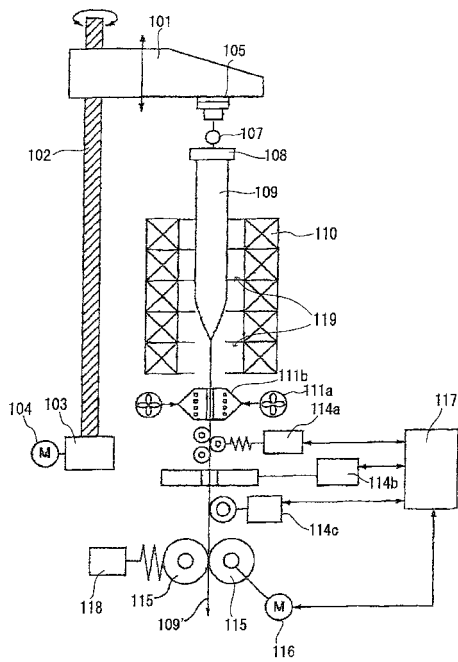
【図8】



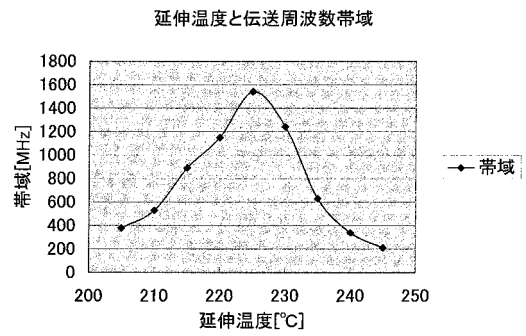
【図7】



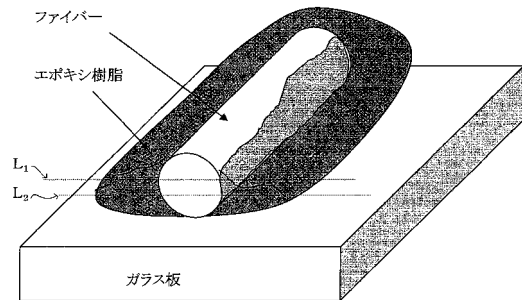
【図9】



【図10】



【図11】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2002-116327(JP,A)

特開平11-337745(JP,A)

M.A.El-Bakary, Journal of Applied Polymer Science, 2003年 4月 1日, Vol.87, No.14, p.2341-2347

R.A.Huijts et al., Polymer, 1994年, Vol.35, No.14, p.3119-3121

J.Dugas et al., Applied Optics, 1994年 6月 1日, Vol.33, No.16, p.3545-3548

A.A.Hamza et al., Polymer Testing, 1992年 7月20日, Vol.11, No.3, p.233-245

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 6/02 - 6/04

JSTPlus(JDreamII)

JST7580(JDreamII)